

Д. О. Панов*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь

**dimtak-panov@mail.ru*,

СКОРОСТНАЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ В ИСХОДНО ЗАКАЛЕННОМ И ИСХОДНО ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ

В работе исследованы процессы формирования структуры и свойств низкоуглеродистой стали 10Х3Г3МФ в различных исходных состояниях при скоростной термоциклической обработке (ТЦО). Установлено, что наибольшее измельчение зеренной структуры аустенита при ТЦО происходит на первом цикле нагрева до 900 °С исходно холоднодеформированной исследуемой стали, при этом формируется наноструктурное состояние мартенсита, что приводит к существенному увеличению уровня механических свойств.

Ключевые слова: низкоуглеродистая сталь, термоциклическая обработка, аустенитизация, пакетный мартенсит, дилатометрия.

D. O. Panov

HIGH-SPEED THERMAL-CYCLE PROCESSING OF LOW-CARBON STEEL IN THE INITIALLY HARDENED AND INITIALLY COLD-DEFORMED CONDITION

The article is concerned with the research of the processes of formation of the structure and properties of low carbon steel 10H3G3MF in different initial states at high speed thermal-cycle processing (TCP). It is shown that the maximum fine crushing of grain structure of austenite with TCP of the researched steel in initially cold-deformed condition occurs at the first cycle of heating to 900 °C, which results in a substantial increase in level of mechanical properties.

Keywords: low carbon steel, thermal-cycle processing, austenitization, batch martensite, dilatometry.

Структурное состояние материала с высоким уровнем прочности и надежности может быть получено с помощью скоростной термоциклической обработки (ТЦО). Такие материалы используют для изготовления высокоответственных конструкций и деталей машин. Перспективными материалами для измельчения структуры методами ТЦО являются низкоуглеродистые стали типа 10Х3Г3МФ.

Целью данной работы является изучение процессов формирования структуры и свойств низкоуглеродистой стали 10H3G3MF при скоростной термоциклической обработке.

В качестве методов исследования использованы металлографический и дилатометрический анализ, просвечивающая электронная микроскопия, испытания на микротвердость, на одноосное растяжение и ударную вязкость (КСТ).

В результате проведенных исследований показано, что скоростная ТЦО при 900 °С исходно закаленной стали 10X3Г3МФ вызывает измельчение зерна аустенита до третьего цикла нагрева, при этом формируется зеренная структура аустенита со средним размером порядка 2 мкм, а при увеличении количества циклов обработки зерно практически не изменяется. Наибольшее измельчение зеренной структуры аустенита (зерно до 1 мкм) исходно холоднодеформированной исследуемой стали происходит на первом цикле нагрева до 900 °С, а при дальнейшем циклировании наблюдается рост аустенитного зерна до третьего цикла с последующей стабилизацией на уровне 3,5 мкм. Скоростная ТЦО при 1000 °С после всех исследуемых режимов приводит к получению аустенитного зерна со средним размером на уровне 6–8 мкм.

Исследование методами просвечивающей электронной микроскопии стали 10X3Г3МФ после различных режимов скоростной ТЦО установило, что после трех циклов обработки при 900 °С исходно закаленной стали формируется структура пакетного мартенсита со средним поперечным размером рейки в плоскости фольги 120 ± 10 нм, а в случае одного цикла нагрева до 900 °С исходно холоднодеформированной стали реализуется наноструктурное состояние пакетного мартенсита со средним размером рейки в плоскости фольги равным 60 ± 10 нм.

Дилатометрический анализ процессов скоростной ТЦО при 900 °С показал, что при всех исследуемых режимах обработки стали 10X3Г3МФ в исходно закаленном и исходно холоднодеформированном состоянии наблюдаются три стадии $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения. Доля в общем объемном эффекте первой, второй и третьей стадии $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения исследуемой стали практически не зависит от количества циклов обработки и исходного состояния, так на долю первой стадии приходится 9–13 % объемного эффекта $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения, на долю второй стадии – 54–57 %, на долю третьей стадии – 29–36 %. Обнаружено, что в исходно закаленной стали 10X3Г3МФ при скоростной ТЦО наблюдается тенденция к снижению по температурной шкале положения пиков второй и третьей стадии $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения, а положение пика первой стадии остается неизменным, что является причиной увеличения интенсивности $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения. Температуры максимумов пиков всех стадий $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения при скоростной ТЦО исходно холоднодеформированной стали на первом цикле находятся ниже, чем втором цикле, где они поднимаются вверх по

оси температур и при увеличении числа циклов остаются неизменными. Это обусловлено более низким положением критической температуры A_{c1} на первом цикле и последующим ее повышением при скоростной ТЦО.

Наиболее высокий комплекс механических свойств стали 10ХЗГЗМФ в исходно закаленном состоянии получен в результате трех циклов скоростной ТЦО при 900 °С при этом наблюдается повышение предела текучести ($\sigma_{0,2}$) до уровня 1100 МПа, что на 25 % превышает уровень этой характеристики в исходно закаленном состоянии, предел прочности (σ_b), относительное удлинение (δ) и относительное сужение (ψ) остаются на том же уровне, а уровень ударной вязкости (КСТ) возрастает в три раза по сравнению с исходным состоянием, до 0,66 МПа/м². В случае исследуемой стали в исходно холоднодеформированном состоянии наиболее высокий комплекс механических свойств реализован после одного цикла скоростного нагрева до 900 °С в результате получения наноструктурного состояния мартенсита – значение предела текучести – 1360 МПа и предела прочности – 1420 МПа, то есть выше исходно закаленного состояния более чем на 50 % и на 10 % соответственно, а ударная вязкость (КСТ) увеличивается до 0,9 МПа/м², то есть более чем в четыре раза выше закаленного состояния. Увеличение количества циклов или температуры нагрева не приводят росту механических свойств.

Исходно закаленная сталь 10ХЗГЗМФ обладает критической температурой хрупкости (T_{K12}) на уровне 10 °С. Однако диспергирование структуры стали вплоть до наноуровня вызывает снижение значения T_{K12} до минус 60 °С. Следует отметить, что наиболее низкое значение критической температуры хрупкости наблюдается у исследуемой стали в холоднодеформированном состоянии ($T_{K12} = -100$ °С).